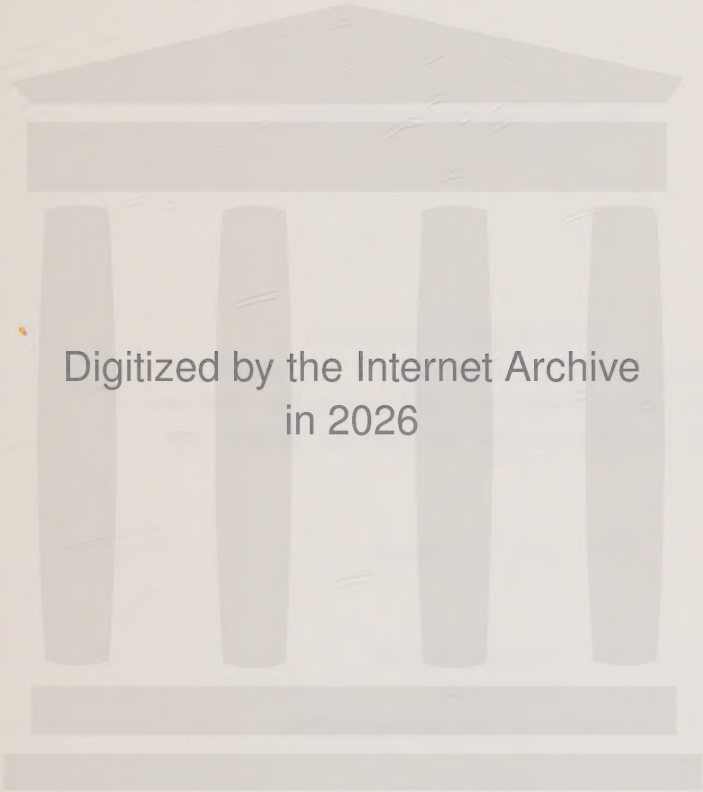
LUNGENFUNKTION UND SKOLIOSE

LOTHAR KRAMER

1972


Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546016_0034

Aus der Orthopädischen Poliklinik der Universität München
Direktor: Prof. Dr. Witt, i.V. Prof. Dr. Göb

LUNGENFUNKTION UND SKOLIOSE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Lothar Kramer
aus
Birkenfeld bei Pforzheim

1972

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. A. Göb
Dekan:	Prof. Dr. W. Spann
Tag der mündlichen Prüfung:	25.7.1972

Meinem Bruder Ansgar

Gliederung

		Seite
A)	Einleitung	2
B)	Material und Methodik	4
C)	Eigene Untersuchungen, Ergebnisse	6
D)	Diskussion	16
	Geschichtlicher Rückblick	16
	Lungenfunktion und Atembeschwerden in Abhängigkeit von Lebensalter bzw. Dauer der Skoliose	17
	Atemmechanik bei Skoliose	21
	1. Elastisches Verhalten von Thorax und Lunge	21
	2. Lungenfunktion auf der konkaven und konvexen Seite	22
	3. Einfluß des Zwerchfells	24
	4. Atemarbeit	26
	5. Atemwiderstand	26
	Beziehung zwischen Skoliosegrad und pulmonalen Störungen	27
	Einfluß von Stellung und Lage auf die Lungenfunktion	31
	Ventilation und Durchblutung sowie Verteilungsstörungen in der Lunge bei Skoliose	33
	Verhalten der arteriellen Blutgase bei Skoliose	35
	Pathologisch-anatomische Befunde an Lungen bei Skoliose	36
	Beeinflussung der Lungenfunktion durch therapeutische Maßnahmen	41
E)	Ableitbare Folgerungen	47
F)	Zusammenfassung	48
Literaturangaben		50

A) Einleitung

Rund 80% der Skoliosen fallen auf die sogenannten idiopathischen Skoliosen. Aber nicht allein die Ursache, auch andere Teilaspekte sind noch nicht hinreichend erklärt, wie z.B. die pulmonale Funktion. In der Therapie der Skoliosen gelingt es zwar mittels der neueren operativen Methoden die Skoliosekrümmungen um ein hohes Maß zu reduzieren. Nur, mit einer ausführlichen Begradigung ist die Krankheit für einen Patienten nicht völlig behoben. Seine Lungenfunktion und damit sekundär das Herzkreislaufsystem hält mit dem Ausmaß der verbessernden Korrektion nicht Schritt.

Wie eine Skoliose die Lungenvolumina beeinträchtigt, ob Strukturveränderungen der Lunge auftreten, wie weit Ventilation und Durchblutung bei der Skoliose verändert sind, soll dargelegt werden. Da in der deutschsprachigen Literatur zu diesem speziellen Problem nur wenige Veröffentlichungen vorliegen, stützen sich die Überlegungen vorwiegend auf Arbeiten des englischen und amerikanischen Forschungsbereiches.

Mittels eines künstlichen, beweglichen Thoraxmodells, das in verschiedene Grade einer Skoliose deformiert werden kann, wird experimentell untersucht, ob z.B. bei einer rechtskonvexen Skoliose durch Volumen- und Drucksteigerungen auf der linken konkaven Thoraxhälfte eine Aufrichtung und eine Redression der Thoraxhälften erzielt werden kann. Zweitens wird experimentell untersucht, welchen Anteil die konkave und die konvexe Seite am Gesamtlungenvolumen haben kann.

Am eigenen Krankengut bestehend aus 14 jugendlichen Patienten werden die Resultate funktioneller Untersuchungen

die Lungenszintigramme, Xenogramme und plethysmographische Messungen der Lungenfunktion herangezogen sowie die Erfahrungen und Ergebnisse mit neueren operativen Korrekturverfahren bei Skoliose untersucht.

B) Material und Methodik

Für die experimentell zu untersuchenden Fragestellungen wurde ein künstlicher, beweglicher Thorax konstruiert. Als Vorlage diente ein echter Skeletthorax, der 1 : 1 nachgebildet wurde.

Die Wirbelsäule setzt sich aus holzgedrechselten Wirbelkörpern zusammen. Seiten und Dornfortsätze wurden weggelassen. An den Wirbelkörpern wurde an der hinteren Circumferenz eine Rille eingefräst, in die ein Kupferleitungskabel eingepaßt wurde. Die Bandscheiben wurden aus Moosgummi herausgeschnitten. Zentral durch die Wirbelkörper wurde ein Draht mit Schraubenspannvorrichtung gezogen. Der Rippenkorb wurde aus Kunststoff gefertigt. Im Schmelzofen wurde eine Kunststoffplatte erwärmt und über den echten Skeletthorax gezogen und genau anmodelliert. Die Zwischenrippenräume wurden eingezeichnet und nach Abnehmen herausgesägt. Mit verschraubbaren Metallplättchen wurden die einzelnen Rippen-Wirbelverbindungen hergestellt. Flexion, Rotation, Torsion, fächerartiges Aufspreizen der Rippen auf der konvexen Seite und Zusammenschluß der Rippen auf der konkaven Seite läßt sich durch die Flexibilität der Wirbelsäule und des Rippenkorbes für ein Modell ausreichend erzielen. Das Zwerchfell wurde durch eine im Schmelzofen kuppenförmig gezogene Plexiglasplatte imitiert und ist auf ein höhenverstellbares und oben mit einem Kugelgelenk versehenes Stativ aufgeschraubt. Die für die Skoliosegradbestimmung erforderliche Meßvorrichtung wurde nach dem Verfahren von COBB an den 2. und 10. BWK angeschraubt. Innerhalb dieser 'Neutralwirbel' wird die thorakale Skoliose nach rechts oder links erzeugt. Um reproduzierbare Skoliosegrade bzw. Skoliose zu erhalten, wurde der gesamte Thorax unter ein verstellbares Stativ gestellt.

In den Skeletthorax wurden 2 gleichartige aus der Anästhesie bekannte 3 l fassende Lungenbälge eingehängt und oben an Druckleitungen angeschlossen. Die obere Thoraxapertur wurde durch eine Korkplatte abgeschlossen, durch die die Anschlußstutzen der Lungenbälge hindurchgeführt wurden.

1. Nach Einstellen eines x-beliebigen Skoliosegrades und rechts- oder linkskovexer Skoliose wurde auf der konkaven Seite gegenüber der konvexen Hälfte das geringere Volumen bzw. geringerer Druck eingepumpt. Nach Belieben konnte nun das Volumen der konkaven Seite gesteigert und dem konvexseitigen angeglichen werden.

2. Von der Normalstellung des Thorax ausgehend wurden die Lungenbälge mit ansteigenden Volumina bzw. Drücken gefüllt und Skoliosegrade von 0 - 55 Grad eingestellt. Die auf der konkaven und konvexen Seite entstehenden Drucke wurden mit einem Druckaufnehmer vom Typ Statham und einem Hellige-Druckmeßgerät (Fa. Hellige) gemessen und graphisch aufgezeichnet.

Für die Untersuchungen am eigenen Krankengut wurden die Krankenakten der in den Jahren Ende 1969 bis Anfang 1972 in der Orthopädischen Poliklinik bzw. im Zentralkrankenhaus Gauting von Herrn Prof. Dr. Göb operierten 14 Skoliosepatienten im Alter zwischen 11 und 24 Jahren herangezogen. Dabei wurde an den Röntgenaufnahmen der Wirbelsäule die Skoliosenkrümmung bzw. der Skoliosewinkel jeweils praeoperativ bei stationärer Aufnahme, nach 1. u. 2. op. Sitzung und bei Entlassung sowie gegebenenfalls 1 Jahr nach Entlassung nach der Methode von COBB gemessen. Um eine Vergleichbarkeit zu erreichen, wurden die gemessenen Werte in Prozentwerte umgerechnet.

C) Ergebnisse der eigenen Untersuchungen

a) Experimentelle Ergebnisse

1. Nach Einstellen eines x-beliebigen Skoliosegrades und rechts- oder linkskonvexer Skoliose am Modell wird das Volumen und damit der Druck auf der konkaven Seite kontinuierlich gesteigert.

Je stärker die Skoliose eingestellt bzw. ausgeprägt ist, um so deutlicher läßt sich vor Augen führen, wie die skoliotische Wirbelsäule aufgerichtet und der deformierte Thorax begradigt wird, wenn durch die Volumensteigerungen die konkave Seite entfaltet wird.

Die beiden aufgeblasenen Lungenbälge entwickeln an ihren Berührungsbereichen gerade Flächen im Sinne eines Mediastinums. (Das Herz verändert sich, wie später ausführlich behandelt, kaum und kann im Modell vernachlässigt werden.)

2. Je nach Einstellen eines Skoliosegrades von o - 55/60 Grad werden mit unterschiedlichen Ausgangsvolumina bzw. Drücken die Druckwerte auf der konkaven und kovexen Seite gleichzeitig gemessen. Die erhaltenen Druckwerte werden in ein Kordinatensystem eingetragen, s. Abb. I, II, III der Millimeterpapierbogen.

Die aufgestellten Kurven beweisen einmal, daß ein unterschiedliches Verhalten zwischen der konkaven und kovexen Thoraxhälfte besteht.

Bei links- oder rechtskonvexer Skoliose steigt der Druck auf der jeweiligen konkaven Seite rascher an.

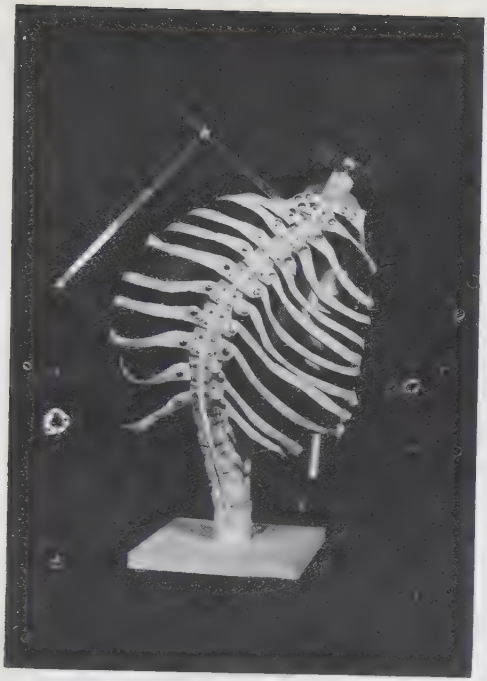
dem Boyle-Mariott'schen Gesetz ($P \cdot V = konst.$) folgt, daß auf der konkaven Seite das Volumen bei zunehmendem

Skoliosegrad und ermöglichtem Druckausgleich immer kleiner werden muß.

Die Kurven der Abbildungen zeigen jeweils einen proportionalen nahezu linearen Anstieg der Druckwerte. (Einzelne Abweichungen - bedingt durch ungenaues Ablesen des Skoliosegrades - werden interpoliert.) Dies ist nach dem Hooke'schen Gesetz nicht anders zu erwarten. D.h. die Änderung des Volumens ist dem auf es einwirkenden äußeren Druck (hier Skoliosegrad) bis zur Elastizitätsgrenze proportional.

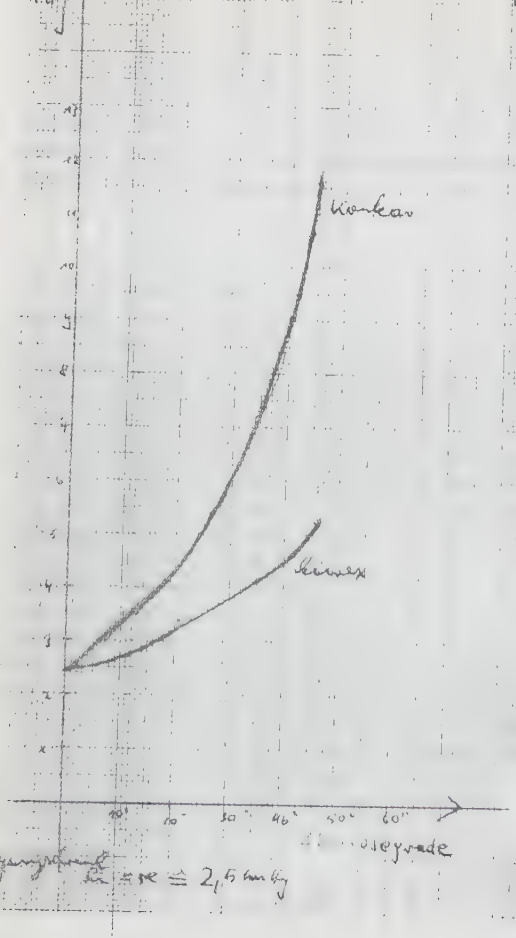
Wie später folgt, haben mehrere Untersucher eine lineare negativ proportionale Beziehung zwischen Vitalkapazität, Totalkapazität und Skoliosegrad an Skoliosepatienten zeigen können.

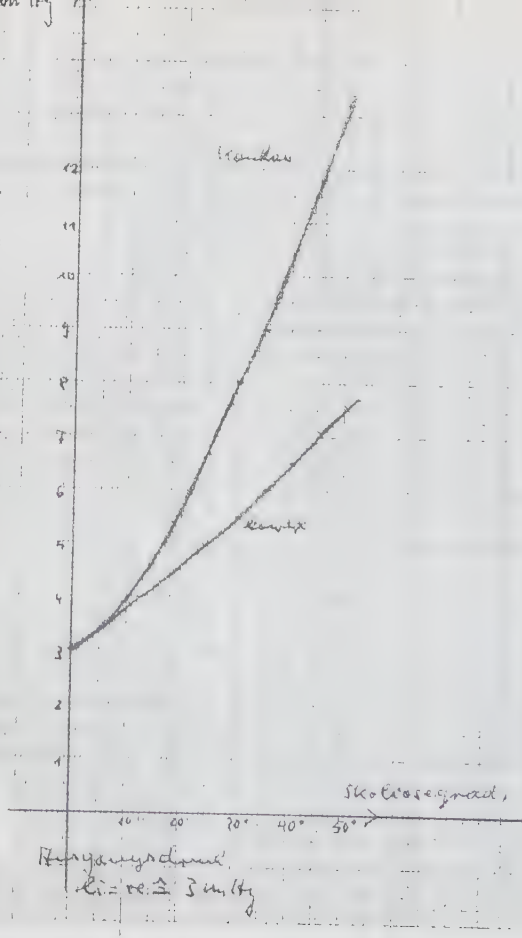
In welchem Licht die oben angeführten Versuchsergebnisse zu sehen sind, wird am Ende der Diskussion im Kapitel 'Ableitbare Folgerungen' gezeigt.

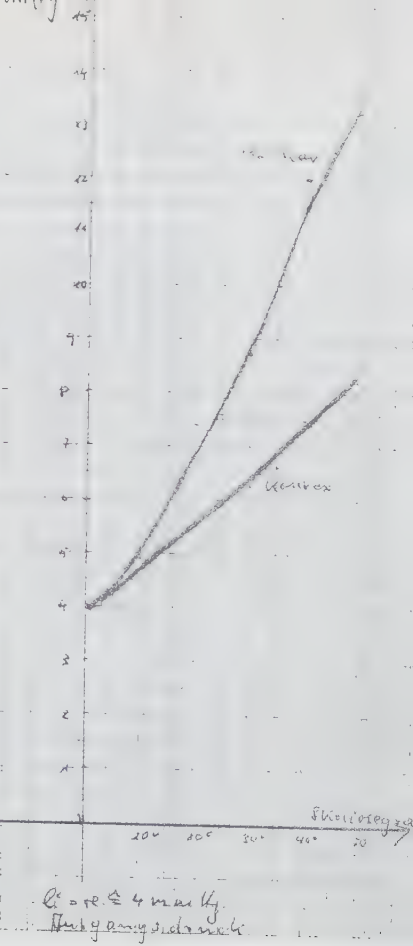


Modell von hinten
Krümmung über 50 °

Krümmung 30 °


konkav
konvex
10°
20°
30°
40°
50°
60°


konkav
konvex
10°
20°
30°
40°
50°


konkav
konvex
10°
20°
30°
40°

b) Untersuchungsergebnisse am eigenen Patientengut

Von den 14 Patienten im Alter zwischen 11 und 24 Jahren waren 13 Mädchen und ein Junge. Davon hatten 11 rechtskonvexe und 3 linkskonvexe BWS-Skoliosen. Die Skoliosewinkel (bzw. Krümmungsgrad nach COBB gemessen) lagen bei den 14 Patienten zwischen 33 und 88 Grad. Der sog. idiopathischen Gruppe sind 12 Fälle zuzuordnen, ein Fall (Nr. 2) der congenitalen Gruppe und ein Fall der Poliomyelitis-bedingten Skoliosegruppe.

In den Kymogrammuntersuchungen war in einem Fall die Zwerchfellbeweglichkeit bds. gleich, in 3 Fällen war auf der konkaven gegenüber der konvexen eine schlechtere Zwerchfellbeweglichkeit festzustellen.

Die Lungenscintigrammuntersuchungen mit Indium 113 (Rieder-Institut) zeigten vereinzelt Differenzen zwischen konkav und konvexer Seite ohne eindeutige Aussagen daraus herleiten zu können.
Die Vitalkapazitätseinschränkung betrug einmal 36%, zum anderen 18%. Zeichen für eine Obstruktion bestanden nicht. Im EKG zeigten sich keine von der Norm abweichenden Befunde.

Die Patienten wurden nach mehrwöchiger Vorbehandlung mit Gymnastik, Extension und Gipsliegeschale grundsätzlich in 2 Sitzungen operiert. In der 1. Sitzung wurde eine Rippenteilresektion mit Verschiebung durchgeführt, wobei der laterale Teil der oberen resezierten Rippe mit dem medianen Teil der tieferen Rippe durch Drahtschlinge verbunden wurde. Nach SCHÖLLNER (1966) kann mit dieser Brustkorbdehnungstechnik mit Rippenbuckelresektion eine Steigerung der Vitalkapazität erreicht werden. Die nächste Operations-

stufe wurde in modifizierter Weise angegangen. Teils wurde transthorakal nach Ausräumen der Zwischenwirbelscheiben, Anfrischen der Wirbelkörper, Teilresektion der Wirbelbögen und Verödung der Wirbelgelenke eine Verspanung mit Blount'schen Klammern vorgenommen, teils das Harrington-Instrumentarium verwendet, teils zusätzlich eine typische Fusionsoperation (mit Anfrischen und Späneeinlagen) durchgeführt.

In 5 Fällen wurde vor der Versteifungsoperation eine Extension mit der Halo-pelvic-traction Methode vorgenommen.

Die Operationsergebnisse zeigen bei Entlassung aus stat. Aufenthalt eine durchschnittliche Besserung der BWS-Skoliose bzw. des Skoliosewinkels um 32% (einschließlich der einen Verschlechterung). Der Fall, der die Verschlechterung aufwies, war schon 2mal auswärts operiert worden und ist der congenitalen Gruppe zugehörig (Vorliegen eines Halbwirbels). Die LWS-Skoliose wurde in 2 Fällen mitkorrigiert mit 53% bzw. 34% Besserung bei Entlassung.

Zwischen den einmal erzielten Operationsergebnissen und der Entlassung trat bei 8 Fällen ein Schwund von durchschnittlich 15% auf.

Ein Jahr nach Operation und teils nach Entfernung des Harrington-Instrumentariums war in 3 Fällen zwischen Entlassung und Nachuntersuchung keine weitere Verschlechterung des Skoliosewinkels festzustellen. Bei einer Patientin trat eine komplikationslose Schwangerschaft ein. Postoperativ waren einmal Pleuraempyem mit Rezidiv und 2mal Fisteleiterungen am Harrington-Stab aufgetreten, die Anlaß zur operativen Entfernung des Stabes waren.

In einem Fall war das Ergebnis bei Entlassung um 27% verschlechtert, weil sich der Harrington-Stab gelockert hatte und keine Spannung mehr ausübte. Pseudarthrosenbildung sowie ein Bruch des Harrington-Stabes waren nicht aufgetreten, wohl jedoch Verbiegung des Stabes.

Postoperative Gesamtkörperplethysmographische Untersuchungen der Totallungenkapazität erbrachten bei Pat. Nr. 4, 10 und 11 Werte von 2160 ml, 1520 ml und 2720 ml. Im Vergleich mit fiktiven, nicht voll verwertbaren Sollwerten (Nomogramme nach BÜHLMANN) liegen diese Werte unter bzw. bei 50% des Sollwertes.

Die relativ größte Besserung des Skoliosewinkels war mit der Halo-pelvic traction Methode zu erreichen mit einmal 82%iger, einmal 75%iger und einmal 60%iger Besserung. Diese Korrekturerfolge konnten leider in 2 Fällen durch die typische Fusionsoperation (WS-Versteifung) nicht gehalten werden, während in einem Fall durch diese Versteifungsmethode das Ergebnis sogar noch um 3 Winkelgrade (+ 7,5%) gebessert werden konnte.

Name:	Sch.K.	H.E.	S.J.	Sch.E.	W.S.	E.K.	K.M.	Sch.J.	K.B.	H.E.	R.H.	K.K	P.F.
					Skoliosegrade im BWS - Bereich								
Praeoperativ bei Aufnahme	75	40	45	58	33	65	65	45	39	45 BWS 38 LWS	48	88 BWS 68 LWS	40
nach 1. Op.		25		58	28	50	38	28	7+)	18 BWS+)	30+)	55 BWS+)	10+)
nach 2. Op.	65		25	36	20	55	28	28	26	25 BWS 16 LWS		43 LWS	7
bei Entlassung	65	45	25	45	2o	55	31	40	26	25 BWS	33	55 BWS 45 LWS	7
1 Jahr nach Op. bzw. Entlassung						55		40-45					
nach Entfernen des Harr.-Stabes						55	41	40-45					

+) mit Halo-pelvic-traction Methode

	Name	Alter	Geschl.	Skolioseform im BWS-Bereich	Besserung des Skoliosewinkels in % bei Entl. aus Stat. Aufenthalt nach Op.
1)	Sch.K.	13 J.	weibl.	li.-konv.	14%
2)	H.E.	11 J.	weibl.	li.-konv.	- 12,5% verschlecht.
3)	S.J.	15 J.	weibl.	re.-konv.	45%
4)	Sch.E.	19 J.	weibl.	re.-konv.	22%
5)	W.G.	14 J.	weibl.	re.-konv.	40%
6)	G.H.	12 J.	weibl.	li.-konv.	- verzogen
7)	E.K.	13 J.	weibl.	re.-konv.	16%
8)	K.M.	15 J.	weibl.	rekonv.	53%
9)	Sch.J.	16 J.	weibl.	rekonv.	11%
10)	K.B.	17 J.	weibl.	re.-konv.	34%
11)	H.E.	17 J.	männl.	rekonv.	45% BWS, 53% LWS
12)	R.H.	14 J.	weibl.	re.-konv.	32%
13)	K.K.	24 J.	weibl.	re.-konv.	37% BWS, 34% LWS
14)	P.F.	15 J.	weibl.	re.-konv.	82,5%

D) Diskussion

Geschichtlicher Rückblick

Das klinische Bild des Skoliosekranken ist schon seit dem Altertum bekannt und von Hippokrates mit seinen Folgen und Komplikationen beschrieben worden.
Bis heute bleibt das Wissen über die Skoliose noch bruchstückhaft. Wie und in welchen Zeiträumen Kenntnisse in der Skolioselungenfunktion erreicht wurden, soll kurz dargestellt werden.
Kurz nach Einführung des Spirometers konnte der deutsche SCHNEEVOGT 1854 berichten, nach seinen Untersuchungen sei die Vitalkapazität bei Skoliosepatienten verringert.
Noch um die Jahrhundertwende herum wurde die Skoliose, wie RISSER es formulierte, als Krebs der orthopädischen Chirurgie angesehen. Bemühungen um eine aktive Korrektur sowie Stabilisierung nahmen zu. Bis sich die Erkenntnis durchsetzte, der Patient sterbe nicht an seiner Skelettdeformität sondern an Herz- und Lungenversagen, war längere Zeit vergangen.
1939 prägten CHAPMAN, DILL und GRAYBIEL den Begriff "Cardiopulmonales Versagen". Sie fanden das Totallungenvolumen mit seinen Unterteilungen vermindert. In Bezug auf die Vitalkapazität war das Residualvolumen erhöht. Blutgasstudien wurden durchgeführt und eine art. Po2 Abnahme und Erhöhung des art. PCo2 festgestellt.
1954 berichteten FISCHER und DOLEHIDE über autoptisch gesicherte Fälle von Skoliose mit Rechtsherzversagen, bei denen häufig eine pulmonale Arteriosklerose, jedoch keine periphere Arteriosklerose zu finden war.
1956 berichteten FISHMAN u.a. nach Herzkatheterisierung über erhöhten Pulmonalarteriendruck bei Skoliosepatienten.

1959 fanden BERGOFSKY, FISHMAN u. TURINO eine lineare Beziehung zwischen Schweregrad der Skoliose und Abnahme der Vitalkapazität. Sie fanden nach Relaxation und passiver Beatmung bei Patienten die Compliance des Brustkorbes vermindert und die Atemarbeit stark erhöht. 1965 konnte DOLLERY unterschiedliche Verhältnisse im Blutdurchfluß der Lungen bei Skoliose feststellen. Trotz Xe 133-Messungen mit enormem apparativem Aufwand war eine Klärung der Ventilationsstörungen noch nicht zu geben.

Es wird in den folgenden Jahren auch in den Arbeiten, die sich mit Op-Verfahren und Op-Erfolgen beschäftigen, immer mehr auf die Lungenfunktion für die Gesamtbeurteilung einer Skoliose hingewiesen.

Lungenfunktion und Atembeschwerden in Abhängigkeit vom Lebensalter bzw. Dauer der Skoliose

Während der ersten Entwicklungsstufen einer Skoliose, vor allem einer idiopathischen, haben die meisten Skoliosepatienten keine cardiopulmonalen Symptome. In der Kindheit (nach JAMES 1965 liegen hier die Jungen mit 60 : 40 gegenüber den Mädchen mit idiopath. Skoliose (in diesem Alter likonvex) vorne) sind Lungenfunktionsstörungen bisher nicht eingehend beschrieben worden. Wie JAMES aus seinem großen Erfahrungsgut berichtet, sind es in der Adoleszenz hauptsächlich Mädchen (Mädchen : Jungen 9 : 1), die für eine idiopathische Skoliose (in diesem Alter vorzugsweise rechtskonvex) praedestiniert sind, und zwar solche, die eher kräftig sind, Pony geritten sind u. dergl. mehr.

Auch wenn sich eine rapide Verschlechterung der Wirbelsäulenkrümmung einstellt - die Kinder fallen sozusagen unter den Augen zusammen - geben sie bei ausführlicher Anamnese sehr selten subjektive Beschwerden an.
Die spirometrische Untersuchung ergibt nun bei fortgeschrittener Skoliose einen anderen Aspekt. Die pulmonalen Symptome treten frühzeitig auf (MANKIN 1964) und sie sind durch einfache Labormethoden wie Vitalkapazität und Atemgrenzwert aufzudecken. Zahlenbeispiele sollen den Abfall der Sollwerte unterstreichen. Auch Patienten, die einen Skoliosewinkel von noch unter 60 Grad hatten, entwickelten schon pulmonale Störungen (MAKLEY 1968). Ein Drittel seiner Patienten hatte nur 60% des Sollwerts.
In MANKIN's (1964) Untersuchungsfällen im Alter von 9 - 20 J. und einem Skoliosegrad zwischen 0 und 50 Grad hatten 17 von 32 (also 52%) eine signifikante Reduktion des Lungenvolumens. Aber nur 7 davon hatten signifikante subjektive Beschwerden. In einer Langzeitstudie an Erwachsenen von COLLIS und PONSETI (1969) boten 45% der Patienten eine reduzierte Vitalkapazität, aber nur 2% hatten nach Belastungen wie Treppensteigen mehr als eine leichte Dyspnoe. Dabei fand sich eine gute Korrelation zwischen Brustkorbausdehnung und Vitalkapazitätsmessungen.
Über einen Verlauf von 20 J. beobachtet, klagten von 195 Patienten nur rd. 15% über Kurzatmigkeit, die gelegentlich ihre Aktivität einschränkte (COLLIS und PONSETI).
Eine einfache, aber objektivierte Funktionsmessung ist eben notwendig.

Wenn zunächst die subjektiven Symptome bei einer zeitlich relativ kurz bestehenden Skoliose gering erscheinen, wie kommt es nun zu dem schweren klinischen Bild eines Skoliosekranken mit Kurzatmigkeit, Herzklopfen, Husten und den

Zeichen des schweren Herzversagens, das schlecht auf Behandlung anspricht? Verlaufsbeobachtungen über einen langen Zeitraum können herangezogen werden (s. COLLIS u. PONSETI). Ein Augenmerk ist dabei auf das Verhalten der Wirbelsäule zu richten. Weitere Faktoren wie Ansteigen des Pulmonalarteriendruckes und strukturelle Änderungen des Lungengewebes werden in einem späteren Kapitel besprochen.
Auch nachdem das Wachstum als abgeschlossen zu gelten hat - ersichtlich an dem Schluß der Epiphyse der Beckenkämme (Risser'sches Zeichen) - nahmen die Krümmungen der Wirbelsäule zu. Und zwar nach COLLIS u. PONSETI bei 26% der Fälle 15 Grad und mehr und bei 8% mehr als 25 Grad des Skoliosewinkels. Manche Krümmungen nahmen unbehandelt während des ganzen Lebens zu. Besonders die Skoliosen zwischen 60 und 80 Grad mit einer durchschnittlichen Zunahme von 28 Grad (zwischen 17 und 92 Grad). Dabei hatten die Patienten mit Doppelkrümmungen weniger pulmonale Symptome und eine bessere Vitalkapazität als diejenigen Patienten mit einfacher skoliotischer Krümmung im Thoraxbereich. Es spielt mit eine Rolle, wie weit skoliotische Krümmungen kompensiert sind, wie auch JENTSCHURA 1969 betonte.

Wenn nun eben das klinische Bild eines Skoliosekranken mit kardiopulmonalen Symptomen angedeutet wurde, soll kurz auf die räumlichen Verhältnisse des Herzens und seine Beziehungen zum EKG eingegangen werden.
Nach UEHLINGER (1956, Hdb. d. Inn. Med.) geht aus Horizontalquerschnitten von Skoliotikern hervor, daß die Raumverhältnisse für die Lungen von Wirbelkörper zu Wirbelkörper wechseln, dagegen die Raumverhältnisse für das Herz kaum beeinflußt werden. GODFREY (1970) weist darauf hin, das EKG könne beim Skoliotiker in gleicher Weise

interpretiert werden wie beim normalen Menschen. Die Lage der Herzachse im EKG hat nach MANKIN (1964) mit dem Grad der Skoliose keine Beziehung. Unterschiede zwischen rechtskonvexer und linkskonvexer Skoliose seien im EKG nicht festzustellen. Herzstörungen würden bei Skoliosekranken nur dann häufig gefunden, wenn zu einem Marfan Syndrom oder Friedreich'scher Ataxie eine Skoliose hinzukomme. MANKIN (1964) und GODFREY (1970) konnten an ihrem Patientenmaterial bei Rö-Untersuchungen Anomalien am Herzschatten nicht feststellen. Dies mag sicherlich von der zufälligen Zusammensetzung des Untersuchungsgutes abhängen, da nachgewiesenermaßen der rechte Ventrikel eine Hypertrophie entwickelt, wobei das Gewicht mehr aussagt als die röntgenologische Verbreiterung.
FREYSCHUSS (1968) errechnete bei älteren Skoliosepatienten eine zweimal höhere Sterberate als bei normaler Bevölkerung, wobei er zu 60% Herz- oder Lungenversagen als Todesursache angab. COLLIS u. PONSETI hingegen stellten an ihrem Krankengut eine Todesrate von 6,9% auf, die den statistischen Werten einer normalen Bevölkerung desselben Alters über denselben Zeitabschnitt gleichkomme.
Daß Skoliosepatienten doch wesentlich in ihrer Lebensrate beeinträchtigt sind, ergibt ein Ausblick auf die Arbeitsunfähigkeit. Nach BJURE (1970) waren 22% seiner Patienten arbeitsunfähig, d.h. 8 von 38 Patienten mit einem Alter von über 20 J. empfingen Renten.

Atemmechanik bei Skoliose

1. Elastisches Verhalten von Thorax und Lunge

Die Dehnbarkeit von Thorax und Lunge ist von elastischen Retraktionskräften abhängig. Diese Dehnbarkeit kann beim Patienten mittels Oesophagusdruckmessungen (ΔP) bei gegebenem bzw. eingeatmetem Lungenvolumen (ΔV) gemessen werden; man verwendet dazu den Begriff Compliance. Die Compliance (C) hängt von dem Verhältnis Volumen zu Druck $C = \frac{\Delta V}{\Delta P}$ ab. Aus der Compliance des Thoraxlungensystems lassen sich Lungen- sowie Thoraxcompliance berechnen.
Die Lungencompliance war in der Mehrzahl der von CARO u. DUBOIS (1961) untersuchten Patienten reduziert, unabhängig von Alter, Ätiologie der Skoliose oder durchgemachter pulmonaler Infektion. CARO u. DUBOIS fanden an 6 skoliotischen Kindern die Thoraxcompliance entweder normal oder niedriger als bei Kindern einer vergleichbaren Altersgruppe.
Wie bei Messungen an Erwachsenen festgestellt wurde, ist die niedrige Compliance des Brustkorbes eine späte Komplikation bei Skoliosethorax. TING (1964) bestätigt, an einer niedrigen Compliance des Gesamtrespirationssystems besitze der Thorax einen wesentlichen Anteil. Einschnürungsversuche von CARO u. DUBOIS, also experimentelle Erniedrigungen der Thoraxcompliance, unterstrichen die Bedeutung der Thoraxbeweglichkeit. Der Schritt aus solchen Versuchen, die negative Einwirkung von Gipsjacken bzw. -verbänden zu erkennen, ist klein. Eine Erschwerung der Ausdehnung des Brustkorbs sollte also vermindert werden oder soll hinausgeschoben werden, was aus dem Wert der Atemübungen ersichtlich ist. CARO u. DUBOIS appellieren auch daran, daß bei Operationen die Expansion des Thorax nicht

weiter erschwert werden dürfe, da langzeitige Einschränkungen der Brustkorbexpansion zu Änderungen in der Motilität führen würden. MEZNIK u. KUMMER (1970) konnten die Lungencompliance mit der Dauer der Erkrankung nicht in eine Beziehung bringen. Sie verhielt sich teils vermehrt, teils normal, teils erniedrigt. Von einer einheitlichen Änderung oder Einschränkung der Compliance innerhalb einer Lunge sieht SHANNON (1970) ab. Entsprechend einigen Zonen der Lunge, die mehr oder weniger belüftet sind, d.h. bei normalem Ventilationsdruck Hyper- oder Hypoventilation aufweisen, hält er unterschiedliche Compliancebezirke für gegeben. Nach TING (1964) hing die Compliance eher vom erniedrigten Lungenvolumen als von der Lungenelastizität ab.

2. Lungenfunktion auf der konkaven und konvexen Seite

Durch die starke seitliche Verkrümmung mit Rotation der Wirbelkörper und Torsion der Wirbelsäule wird der Brustkorb in zwei ungleiche Hälften deformiert. Auch die Rippenstellung wird dahin verändert, als wäre durch die Rippenspreizung auf der Konvexseite eine Inspirationsstellung, auf der Konkavseite eine Exspirationsstellung zu verzeichnen. Von solch einer kontroversen Atemfunktionsbetrachtung ist jedoch abzusehen, die Thoraxorgane arbeiten auch bei räumlicher Deformierung synchron.
Dennoch drängt sich die Frage auf, welche der Thoraxhälften die konkave oder die konvexe das größere Lungenvolumen, den größeren Anteil am Gasaustausch besitzt und wie verhält sich die Durchblutung auf der jeweiligen Seite.

Diese Frage war lage Zeit nur vermutungsweise beantwortet. Erst 1951 erschien ein Artikel von STEINMANN, der die ge-

tre[illegible] funktionsprüfung von Lungen bei Kyphoskoliotikern inaugurierte. Von ihm wurden damals 4 Patienten untersucht. STEINMANN kam zu dem Ergebnis, die Lunge auf der konvexen Seite habe die größere Leistungsfähigkeit, da der überdehnte Brustkorb mit gespreizten Rippen der Lunge mehr Bewegungsfreiheit zulasse als die breite, aber flache Thoraxhälfte mit enger Rippenstellung.

Noch einige andere Autoren haben sich mit dieser Frage beschäftigt und kamen noch in neuester Zeit zu einem teils konträren Ergebnis.
Zunächst die Anhänger der konvexen Seite, als der besseren. GUCKER (1962) schloß sich der Meinung STEINMANN's an. Bei Druck auf die konvexe Seite nämlich - also einer funktionellen Beeinträchtigung - sinke die Vitalkapazität; so z.B. nach korrigierender Operation.
DOLLERY (1965) erschien die konkavseitige Lunge zwar strahlendurchlässiger, auf Grund seiner Untersuchungen mit radioaktivem Xe 133 zog er den Schluß, die konvexe Seite sei besser beatmet. MIGUERES u. Mitarb. (1970) führten an, die Beeinträchtigung der Lungenfunktion liege auf der konkaven Seite. An Gründen nannten sie verringertes Rippenspiel, Einschränkung der Zwerchfellbeweglichkeit und Einschränkung der Durchblutung. Außerdem habe die Szintigraphie nach Behandlung eine Verbesserung auf der konkaven Seite ergeben.
Auch WESTGATE (1969) sprach von einer Kompensation der konvexen Lungenseite gegenüber der konkaven.
REID (1965) führte an Leichenlungen von Skoliotikern separate Inflationsmessungen durch und entsprechend den erhaltenen Lungenvolumina besaßen die konvexen Lungen die größeren Inhalte.

GILLAM (1965) untersuchte in Zusammenarbeit mit DOLLERY, HUGH-JONES und ZORAB mit radioaktivem Xenon eine Serie von Skoliosepatienten. Seiner Überzeugung nach ist das Volumen der konvexen Lunge größer als das der konkaven.

Jetzt zu den Anhängern der Konkavseite.
Ebenfalls mit radioaktivem Xenon arbeitete SHANNON (1970). Bei Patienten mit starken skoliotischen Krümmungen maß er der konkaven Seite den größeren Anteil an der Lungenfunktion zu. Bei 4 von 6 Patienten mit Skoliosegrad über 65 Grad war nahezu zwei Drittel der funktionierenden Lunge auf der konkaven Seite - ungeachtet der Körperstellung. Er leitet daraus ab, Störungen in der Verteilung von Ventilation und Durchblutung beruhten zumindest teilweise darauf, daß die Lunge auf der konkaven Seite (mit ihrem größeren Funktionsanteil) in vertikaler Richtung (besonders bei aufrechter Stellung) komprimiert werde.
Zwei ungarische Autorengruppen NAGY u. BARTA sowie HORVATH u. GLAUBER (1968) fanden an ihrem Untersuchungsgut die Funktion der konkaven Lungenhälfte als besser.

Wie schwierig es ist, auch mittels Isotopenstudien eine definitive Aussage zu erreichen, darauf deuten die Untersuchungen von WESTGATE 1967 hin, der auf der konvexen Seite eine Abnahme der Ventilation und eine Zunahme der Durchblutung feststellte.

3. Einfluß des Zwerchfells

Bei Autopsien von Skoliotikern wurden eine Hypertrophie des Zwerchfells festgestellt (REID 1965). Ähnliche Beobachtungen berichten FISHMAN sowie SHANNON (1970). Es ist damit gesichert, daß die Zwerchfelltätigkeit bei der At-

mung eines Skoliotikers ein mehr als normaler Anteil zukommt. Bei Kymogrammuntersuchungen an normalen Menschen wurde nach HORVATH u. GLAUBER (1968) eine Zwerchfellbewegung um durchschnittlich 12 mm berechnet. Dies würde eine intrathorakale Volumenzunahme von 300 ccm bedeuten. Da im Ruhezustand die benötigte Luftmenge (Vt) ungefähr 500 ccm ausmacht, könnte nach obiger Berechnung die Zwerchfellfunktion rund 60% des mittleren Atemvolumens sichern. Dies kann aus der Erfahrung bei Behandlung von Poliopatienten, die auf einer Schaukelliege ruhen müssen, für möglich gehalten werden. UEHLINGER (1956) zufolge entsteht bei Skoliose je nach Lage des Skoliosescheitels eine mehr oder weniger schwere Verzerrung des Zwerchfells, die zu einem ungleichen Zwerchfellstand führt. Nach SCHINZ (zit. HORVATH) ist der Zwerchfellstand eine Folgefunktion der Thoraxdeformität.

Einen Zwerchfelltiefstand fand SCHULTHESS (1905) auf der Konvexseite der Hauptkrümmung und einen Hochstand auf der Konkavseite. HORVATH u. GLAUBER (1968) kamen bei Verwertung von 100 Kymogrammen zu dem Ergebnis, auf der konkaven Seite bestehe keine Zwerchfelltätigkeit, auf der konvexen Seite sei die Atembewegung des Zwerchfells einwandfrei.

SIMON (1965) konnte jedoch in einem Film über die Zwerchfelltätigkeit (auf einem Symposium über Skoliose) auch bei schweren Skoliosen eine gute Zwerchfelltätigkeit auf beiden Seiten zeigen. FISHMAN (1965) meinte vor dem Durchleuchtungsschirm sehe man eine gute Bewegung des Zwerchfells, aber wie weit das Zwerchfell die Atemtätigkeit erleichtere, könne er nicht sagen. Auf der ganzen Welt seien hierüber unterschiedliche Auffassungen vorhanden auch in Bezug auf ein spezielles Zwerchfelltraining.

4. Atemarbeit

Der Skoliotiker atmet mit kleinem Atemvolumen und höherer Frequenz. Durch das Ventilieren des Totraums einmal sowie der Rigidität des Brustkorbs mit erhöhtem Widerstand bei Atemexcursion wird gegenüber einem normalen Brustkorb mehr Arbeit und Energie zur Atmung benötigt. Der Atemmechanismus ist verschlechtert (MANKIN). Der Skoliotiker atmet an einer Grenze, nahe der alveolären Hypventilation. BERGOFSKY u. Mitarb. berichteten 1959 als erste über die vermehrte Atemarbeit im Verhältnis zur Schwere des Skoliosegrades. Die vermehrte Arbeit betrifft bei schwerer Skoliose mehr den Thorax an sich, weniger die Mobilisation der deformierten Lungen (FISHMAN 1965). Beim Gesunden reichen 18 - 20% der Atemarbeit aus, um den Brustkorb zu bewegen. Beim Skoliotiker könne dieser Anteil nach DE COSTER (1967) auf 50% steigen. Die Atemmuskulatur hat beim Skoliotiker eine wesentlich größere Arbeit zu leisten, um dasselbe Bewegungsausmaß wie das eines Gesunden zu erreichen. Wie verhält sich die Atemarbeit bei Patienten mit operativ versteifter Wirbelsäule? Aus subjektiven Schilderungen von Patienten ist hier anzuführen, das Atmen falle ihnen leichter.

5. Atemwiderstand

BERGOFSKY u. Mitarb. (1951) hatte bei umfassenden Studien einschließlich Sektion in seinen Fällen keine Hinweise für Obstruktion gefunden. Die Bronchialwege zeigten nirgends eine Knickung.
MEZNIK u. KUMMER (1970) konnten in allen ihren Fällen mittels Ganzkörperplethysmographie eine Obstruktion aus-

schl[illegible]. DURE hatte in 50 Fällen keine Obstruktion. Auch MANKIN nicht - hier wurden 80% der Vitalkapazität innerhalb einer Sekunde ausgeatmet. Weitere Autoren die keine Ostruktion fanden, sind POPESCU (1962), DE COSTER, NAGY u. BARTA. PRIME (1965) fand in 34 Fällen von Skoliose nur 2 mit Obstruktion. WESTGATE (1969) hatte gar unter 74 Patienten nur 2 Patienten mit ausgeprägter Atemwegsobstruktion. Allerdings wies POPESCU darauf hin, daß bei Erwachsenen nach mehrfachen Bronchitiden und Infekten ein verschlimmerndes obstruktives Element hinzukommen könne.

Beziehung zwischen Skoliosegrad und pulmonalen Störungen

Die Skoliose mit der Deformierung der Thoraxhälften und der Lungen wird bei Anlegen einer schematischen Einteilung dem Syndrom "Restriktion" zugeordnet. Dieser Zuordnung zufolge sollen von den Meßwerten die Totalkapazität, Vitalkapazität und die Compliance u.a. reduziert sein. Auf die weiteren Hauptmerkmale wie Einschränkung der ventilierten und durchbluteten Lungenoberfläche sowie den pathophysiologischen Folgen wie Erhöhung des Lungengefäßwiderstandes soll in einem späteren Abschnitt eingegangen werden.
Zuvor, wie verhalten sich die in der Spirometrie, in der Ganzkörperplethysmographie sowie unter Verwendung von Fremdgasen wie Helium und Xenon bestimmbaren Lungenvolumina und deren Unterabteilungen sowie die Blutgase bei der Skoliose. Die idiopathische Skoliose steht dabei im Vordergrund der Betrachtungen.
Da die Vitalkapazität der am längsten und einfachsten bestimmbare Parameter ist und trotz aller Schmähungen auch

in der technisierten Pulmonologie einen Ehrenplatz einnimmt, sind über die VK und deren Beziehungen zum Skoliosegrad auch die zahlreichsten vergleichbaren Befunde zu finden.

Proportionale Abnahme der Vitalkapazität bei Zunahme des Skoliosewinkels wurden von mehreren Autoren übereinstimmend gefunden. BERGOFSKY et al. 1959, SHAW and READ 1960, GUCKER 1962, wobei in dessen paralytischer Patientengruppe diese Beziehung noch auffallender war, sowie GRUETER (1963). MANKIN (1964) stellte eine Gleichung auf, die die gute Korrelation zwischen Skoliosegrad und Vitalkapazität darstellte. Die Vitalkapazität verläuft umgekehrt proportional mit dem Skoliosegrad bzw. -winkel, $y = 0{,}04\ x + .878$.

Bestätigt wurde diese Beziehung durch MAKLEY (1968) sowohl für die paralytische als auch nichtparalytische Gruppe. Eine Reihe von Autoren aus verschiedenen Ländern konnten an ihrem Patientengut dieselbe lineare Beziehung feststellen: FREYSCHUSS (1968), WESTGATE u. MOE (1969), MEZNIK u. KUMMER (1970), MIGUÈRES et al. (1970), SHANNON (1970), GODFREY (1970), BJURE (1970), HEINE u. MEISTER (1972).

Lediglich eine einzige Autorengruppe (CARO u. DUBOIS 1961) konnten keine Beziehung zwischen Skoliosegrad und der Vitalkapazität finden.

Unterschiedliche Auffassungen ergaben sich in den Ergebnissen bei der paralytischen Patientengruppe. GUCKER fand eine besonders signifikante negative Korrelation von Skoliosegrad zu VK. MAKLEY hatte in dieser Gruppe keine wesentlichen Unterschiede, während WESTGATE 1969 eine signifikante negative Korrelation bei der paralytischen und congenitalen Gruppe verneinte.

Von den Autoren festgestellte Beziehungen zwischen Lungenvolumina und Skoliosegrad (mit umgekehrt proportionaler Korrelation):

Restriktion	idiopathisch	paralytisch
Vitalkapazität (Vk, Vc)	BERGOFSKY, TURINO, FISHMAN 1959 GUCKER 1962 GRUETER 1963 MANKIN 1964 y=-0,04x + .878 MAKLEY 1968 FREYSCHUSS 1968 WESTGATE u. MOE 1969 MEZNIK u. KUMMER 1970 SHANNON 1970 GODFREY 1970 BJURE 1970 MIGUÈRES et GAUBERT 1970 HEINE u. MEISTER 1972	GODFREY 1970 GUCKER 1962 WESTGATE 1969: nein
Totallungenkapazität (TLC)	GODFREY 1970 MEZNIK u. KUMMER 1970 SHANNON 1970 BJURE 1970 HEINE u. MEISTER 1972	
Funktionelle Residualkapazität (FRC)	BJURE 1970 MEZNIK: keine klare Beziehung	
Inspirationskapazität	MANKIN 1964	
Atemgrenzwert (MbC)	MANKIN 1964 WESTGATE 1969 GODFREY 1970	
= MvV	MEZNIK u. KUMMER: nein	GODFEY 1970
Residualvolumen (RV)	HEINE u. MEISTER 1972	

Wann kann nun von beginnender echter Restriktion, also wenn auch Residualvolumenerhöhungen auftreten, gesprochen werden? Mit zunehmendem Ausmaß der Skoliosegrade gibt es doch einen Bereich, der als Caesur, als Wendepunkt zu einer stärkeren kardiopulmonalen Belastung gelten kann, nämlich Skoliosen über 60/65 Grad.
In einem früheren Abschnitt wurde schon erwähnt, Skoliosen zwischen 60 und 80 Grad würden sich ohne ständige Kontrolle besonders verschlechtern. ZORAB (1969), HORVATH (1968), FREYSCHUSS (1968) teilen ihre Skoliosepatienten in Gruppen unter 60 und über 60 Grad ein. Unter 60 leichtere Skoliose, über 60 schwere Skoliose. Bei MANKIN (1964) beträgt der Skoliosewinkel 50 Grad, bei NAGY u. BARTA 60 Grad über dem die Atmungsstörung restriktiven Charakters sich signifikant erhöht. SHANNON (1970) äußert sich so, eine Skoliose unter 65 Grad rufe kaum einen restriktiven ventilatorischen Effekt hervor; lediglich ein Abfall der PO2 Spannung bei Belastung sei die einzige Anomalität (bei 5 von 8 Patienten). Bei Krümmungen über 65 Grad war die totale Lungenkapazität verringert, bei Krümmungen über 90 Grad bestand gegenüber der Totallungenkapazität (TLC) ein vergrößertes Residualvolumen (SHANNON).

Bei den Skoliosegraden muß jedoch darauf geachtet werden, in welchem Bereich der Wirbelsäule die Krümmung auftritt. Es ist verständlich, wenn bei tiefen thorakalen und lumbalen Skoliosen kaum Atemnot gesehen wird.

Einfluß von Stellung und Lage auf Skoliosegrad, Lungenvolumina und Ventilation und Perfusion

a) auf Skoliosegrad

Beim Vergleich von Röntgenaufnahmen der Gesamtwirbelsäule, die in aufrechter und liegender Stellung angefertigt werden, sind zum Teil Unterschiede festzustellen, die bei einer Durchuntersuchung und Auswertung eines Patientenkollektivs ins Gewicht fallen. Die gegensätzlichen Erfahrungen werden einander gegenübergestellt.

SHANNON (1970) konnte bei 15 rechtskonvexen Patienten im Alter zwischen 10 und 20 Jahren mit Skoliosegraden zwischen 52 und 121 Grad in aufrechter Stellung gegenüber der liegenden Haltung eine Zunahme von durchschnittlich 11 Grad (5 - 21 Grad) errechnen.
MANKIN (1964) dagegen fand in dieser Hinsicht keine signifikante Korrelation. Die "Lockerheit" einer Skoliosewirbelsäule dürfte auslösendes Element dieser Unterschiede sein.

b) auf Lungenvolumina

PISSAREK und DIPPOLD (1971) hatten durchaus lagebedingte Änderungen der Vitalkapazität, des Atemsekundenwertes und Atemgrenzwertes festgestellt. Allerdings machten sie den Zusatz, daß diese Größenordnung bei der maschinellen Beatmung während der Op-Narkose vernachlässigt werden könne.
GUCKER (1962) fand die durchschnittliche Vitalkapazität bei Skoliosepatienten (paralytisch oder nicht-paralytisch) im Sitzen geringer als in aufrechter Stellung. Bei seinen Normalpersonen zur Kontrolle war die VK in aufrechter Stellung um 5% schlechter als im Sitzen.

CARO u. DUBOIS (1961) konnten in Bezug auf die Vitalkapazität (außer einiger Sonderfälle) keinen bedeutsamen Unterschied in aufrechter oder sitzender Stellung finden. Ebenso war MANKIN nicht der Auffassung einer Korrelation zwischen Stellungsänderungen und groben Thoraxvolumina.
SHANNON meinte, in aufrechter Stellung sei die konkave Seite mehr komprimiert, deswegen sei das Lungenvolumen herabgesetzt.

c) auf Ventilation und Durchblutung

Um ein abweichendes Verhalten bei der Skoliose zu verdeutlichen, zuerst die Befunde bei Normalpersonen.
Nach WEST und DOLLERY nimmt normalerweise in aufrechter Stellung die pulmonale Durchblutung vom Apex zur Basis zu, nach SHANNON auch die Ventilation. Diese Feststellung wurde mittels Xenon und radioaktiven CO2-Methoden bei Untersuchungen zur topographischen Verteilung gewonnen. Als Erklärung wird die Gravität herangezogen, mit Auswirkung auf die alveoläre Expansion sowie die Blutsäule in der Pulmonalarterie.
In liegender Stellung wird die Verteilung einheitlich, da die Gravität vernachlässigt werden kann.
Bei Skoliosepatienten tritt nach SHANNON (1970) in aufrechter Stellung mehr als in liegender Stellung eine Verschlechterung der regionalen Verteilung von Ventilation und Durchblutung auf. Und zwar schien im Gegensatz zum normalen gravitätsabhängigen Verteilungsmuster (Apex zur Basis) die Verteilung von Ventilation und Durchblutung in allen Lungenzonen gleich zu sein.
Eine gleichmäßige Durchblutung der Lunge in aufrechter Stellung ist laut DOLLERY (1965) abnormal.

Eine teilweise Erklärung läßt sich ihm zufolge durch den Höhenverlust der Lunge (bei WS-Verkürzung) und der damit verbundenen Drucksteigerung in den pulmonalen Gefäßen geben.
SHANNON (1970) stellt sogar die These auf, bessere sich die Lungenfunktion bei einem Skoliosepatienten in liegender Stellung, könnte dies ein Hinweis für die Reversibilität sein, die durch eine korrigierende Operation zu erreichen wäre.

Ventilation und Durchblutung sowie Verteilungsstörungen in der Lunge bei Skoliose

Auch beim Gesunden entsprechen sich das Ventilations- und Durchblutungsvolumen in keinem Lungenabschnitt völlig, COMROE (1968). Die häufigste Ursache ist ein Mißverhältnis zwischen Belüftung und Durchblutung. Wenn schon beim Gesunden ein gleichmäßiges Belüftungs(Va)/Durchblutungs(Qc)-Verhältnis nicht vorliegt, um so mehr muß es bei deformierten Lungen zu Unterschieden in den einzelnen Alveolen mit eigenem $\frac{Va}{Qc}$ - Verhältnis kommen.

Untersuchungen dieses Verhältnisses von $\frac{Va}{Qc}$ wurden von einer Reihe von Autoren mit hohem apparativem Aufwand (Isotopenzählmethoden) durchgeführt. Bei einfachen röntgenologischen Untersuchungen wurde festgestellt, die Lungenfelder seien meist klar, die Lungengefäße jedoch klein (GODFREY 1970), wobei SIMON (1965) in den Fällen mit früh entwickelter Skoliose (z.B. congenitaler) die schmalsten Gefäße am Hilus bei Rö-Aufnahmen sah.
Hervorgerufen durch die schon oben erwähnte vermehrte Atemarbeit mit der Folge der alveolären Hypoventilation

gesellt sich ein zusätzliches belastendes Moment zum Gasaustausch.
Eine Störung des Ventilation/Durchblutungsverhältnisses nämlich praedisponiert einen Skoliotiker zusätzlich zur alveolären Hypoventilation zur Hypoxaemie (SHAW et al. 1960). Andere Gründe als alveoläre Hypoventilation - wie 1. Defekt in der Diffusion von Sauerstoff durch die Alveolarmembran sowie 2. Kurzschluß (Shunting) von Blut durch nicht belüftete Bezirke der Lunge werden von SHAW selbst widerlegt und nicht als wesentliche Ursache der pulmonalen Störungen bei Skoliose angesehen.

Anhand von Messungen mit radioaktivem Xe, das nach einem tiefen Atemzug (zur Bestimmung der Ventilation), einer I.V.-Injektion - in Salz gelöst - (zur Bestimmung der Durchblutung) und einem Rückatmungsversuch (zur Bestimmung des Volumens) verglichen wird, konnte DOLLERY 1965 eine Anomalie bei der Skoliose feststellen: nämlich eine relative Zunahme der Durchblutung in der Spitze der Lunge bei aufrecht stehendem Patienten.
SHANNON (1970) fand bei seiner Serie teils eine mehr gleichmäßige, teils gesteigerte Durchblutung in den oberen Partien, während die Durchblutung in den unteren Zonen in aufrechter Stellung vermindert war.
Beim Normalen dagegen nimmt die Perfusion gravitätsbedingt zur Basis zu.
Die relative Durchblutung einer Lungenzone ist nun vom regionalen Gefäßwiderstand abhängig. Nach SHANNON bedeutet eine verringerte Durchblutung einen vermehrten Gefäßwiderstand. Im Liegen ist eine anomale Durchblutung eher rückgängig.
Bei Untersuchungen der regionalen Blutströmung an 1o skoliotischen Patienten (davon 7 Patienten zwischen 15 und

22 J.), die klinisch frei von Symptomem waren, fand auch GILLAM (1965), mittels Xe-Messungen bei allen Patienten einen anomalen Kreislauf. Ebenfalls an jungen Patienten mit schwerer Skoliose zeigten BJURE's (1970) Xe-Messungen eine ungleiche Verteilung zwischen Ventilation und Durchblutung.
SHANNON (1970) fügt den pathologisch-anatomischen Erkenntnissen von REID - auf die ich im nächsten Kapitel eingehe - seine eigenen funktionellen Beobachtungen hinzu. Bleibt nämlich wie an Patienten mit schon früh entwickelter Skoliose die relative Minderdurchblutung der unteren Lungenzonen in liegender Stellung bestehen, so mag dies seiner Meinung nach auf eine regionale Hypoplasie der Lungengefäße hinweisen. Dies wäre die funktionelle Erklärung für die von REID (1965) festgestellten pathologischen Befunde.

Verhalten der arteriellen Blutgase bei Skoliose

Die Bestimmung der Blutgase Po2 und PCo2 bringt in der operativ ausgerichteten Orthopädie hinsichtlich der Operabilität des Skoliosekranken einigen praktischen Nutzen. Einerseits ob in der postoperativen Phase eine Krise zu erwarten ist, zum anderen auch, um eine Besserung nach Operation objektiv festhalten zu können. Für eine art. Po2-Erniedrigung kommen bekannterweise in Frage: eine ungleiche Ventilation, ein evtl. venoarterieller Shunt sowie Änderungen in der regionalen Durchblutung.

Bei Untersuchungen von BÜHLMANN und GIERHAKE (1960) an 57 jungen Skoliosekranken fand sich keine PCo2-Erhöhung

oder eine respiratorische Acidose. Die bei einigen Fällen bestehende leichte Hypoxämie (zwischen 91 und 93% - normal 95 - 96%) sah er als Folge einer ungleichmäßigen Ventilation an, d.h. aus schlecht ventilierten Bezirken resultierte eine vermehrte venöse Zumischung. Die Ergebnisse von SHANNON zeigten bei allen 15 Patienten zwischen 10 und 24 Jahren einen anomalen Gasaustausch. 5 hatten schon in Ruhe eine Hypoxaemie. Bei 8 Patienten war der durchschnittliche Po2-Abfall nach Belastung 10 mm. Nur 2 hatten Hinweise für eine minimale Zunahme im re-li-Shunting.
Nach HEINE und MEISTER (1972), die u.a. Lungenvolumina und Sauerstoffpartialdrucke in Abhängigkeit vom Skoliosegrad untersuchten, verlassen die Blutgase erst nach Vitalkapazität und Totalkapazität den Normbereich. Eine lineare Beziehung zwischen Sauerstoffpartialdruck und Krümmungswinkel war ihrer Meinung nach nicht zu erkennen.

Pathologisch-anatomische Befunde an Lungen bei Skoliose

Berichte über Autopsien bei Skoliosepatienten sind in der Literatur sehr wenig erschienen. Auch die Zahl der Autopsien ist gegenüber dem sonstigen veröffentlichten Sektionsmaterial gering.
BERGOFSKY et al. (1959) berichtet über 26 - davon 5 eigene - Autopsien, NAEYE (1961) über 19 und REID (1965) über 9 Autopsien.
Ein Grund mag sein, daß in der Routinesektion die Todesursache - Cor pulmonale, Rechtsherzversagen bei skoliotisch deformiertem Thorax - keine Besonderheit darstellt.

In der Beschreibung der Lungen werden dann Ausdrücke verwendet, wie die Lungen seien atrophisch, kollabiert komprimiert, atelektatisch, in ihrer Totalgröße reduziert, mangelhaft entwickelt. Die beiden Lungenflügel seien verzogen und ungleich groß entsprechend der Beugung der Wirbelsäule (s. REID 1965).
Hinweise für abgelaufene Bronchitiden sind teils zu finden. Emphysembildungen und Bronchopneumonien sind bis auf seltene Ausnahmen nicht bei Skolioselungen festzustellen. Der Bronchialbaum scheint nach SIMON (1965) bronchographisch normal zu sein.
In Bezug auf das Gefäßmuster konnte schon BERGOFSKY und Mitarb. geknickte oder komprimierte Gefäße, die für einen erhöhten Pulmonalarteriendruck in Frage kämen, in skoliotischen Lungen nicht finden. Über geknickte Lungengefäße und geknickten Bronchialbaum war 1959 von ABRAHAMSON (zit. DE COSTER) berichtet worden.
NAEYE (1961) fand in gewissen Fällen um 50%-eine beträchtliche Reduktion des arteriellen und pulmonalen Gefäßbettes. Die Muskelfasern der Media der kleinen Arterien waren hypertrophiert und das Lumen der kleinen Gefäße dilatiert, dies als mögliche Folgeerscheinung der arteriellen pulmonalen Hypertension.
Es wurde in Sektionsberichten beschrieben, segmentäre Atelektasen, z.T. lokale Atelektasen seien nichts Außergewöhnliches (SHAW and J. READ 1960, DE COSTER 1967).
Auch REID (1965) beschreibt unregelmäßig verteilte Lungenveränderungen, mit Unterschieden sogar im Bereich eines einzelnen Lappens.
Unter Zuhilfenahme von Lungenvolumenmessungen, histologischen Schnitten mit Auszählung von Alveolenzahlund Blutgefäßen pro Flächeneinheit konnte REID diese regionalen Veränderungen als regionale Bezirke einer Hypoplasie klassifizieren.

Wie sich diese Hypoplasieregionen entwickeln können und wie sich die Gefäßstruktur dazu verhält, soll an Hand von REID's Untersuchungen ausführlicher dargestellt werden.

Unter dem Blickwinkel der Entwicklung der Lungen konnte eine bestechende Erklärung geboten werden.

Insbesondere unter der Fragestellung, wann sind die Bronchialwege entwickelt, wann sind die Alveolen entwickelt.

Mehrfache Untersuchungen (BUCHER u. REID 1961), BOYDEN 1958 und 1965 ergaben, daß die Zahl der Acini bzw. Respirationseinheiten (terminaler Bronchiolus + Respirations-Bronchiolus + Alveolarsack) vor der Geburt festgelegt ist. Die Entstehungsweise der Alveolen ist anders: die meisten werden nach der Geburt gebildet. Bei Geburt sind nach Zählungen einfünfzehntel der Alveoli vorhanden. Bis zu einem Alter von 8 Jahren vermehren sich die Alveolen innerhalb des Acinus (WILLSON 1928, zit. REID). Nach 8 Jahren nimmt die Wachstumsrate ab.

Nach einem sogenannten 'anatomischen Gesetz' konnte gesagt werden: Einschränkung der Lungenentwicklung vor der Geburt beeinträchtigt die bronchialen Wege, Einschränkung der Lungenentwicklung nach der Geburt die alveoläre Entwicklung. Dieses Gesetz wird durch Befunde bei congenitaler Zwerchfellhernie erhärtet (AREECHON a. REID 1963). Bei diesen Fällen konnten in Sektionsschnitten auf der Seite der Hernie nur 1/3 des Bronchialbestandes, auf der anderen Seite nur 2/3 des normalen Bestandes an bronchialen Ästen festgestellt werden.

Nach dem Alter von 8 J. wächst die Lunge weiter, d.h. die Größe der individuellen Alveoli nimmt zu. Und damit nimmt auch die alveoläre und Capillaroberfläche zu. Die Blutgefäße passen sich entsprechend den neuen Alveolardimensionen normalerweise kontinuierlich an.

Übertragen auf einen frühkindlichen Skoliosenfall (z.B. im Alter von 5 J.) ist die Gesamtzahl der Alveolen noch vermindert oder die Größe noch sehr unregelmäßig bzw. zu klein (REID 1965). Insbesondere waren die unteren Lappen von der kleinen Alveolengröße behaftet und relativ zu viele Bronchialwege vorhanden.
Nun zu dem Verhältnis Alveolen/Gefäße bei Skoliosekranken. Hierzu wurden von REID und ELLIOT (1965) ebenfalls Untersuchungen an normalen und Skolioselungen durchgeführt. Kurz ausgedrückt, es gelang REID u. Mitarb. z.B. an den Lungen eines im Alter von 18 J. verstorbenen Jungen, der seit dem 6. Lj. eine Skoliose hatte, im Verhältnis Alveolen/Blutgefäße auch eine Einschränkung der Blutgefäßentwicklung festzustellen. Selbst sogar in den oberen vom Normalen makroskopisch wenig verschiedenen Lungenlappen war eine Hypoplasie des Blutgefäßbettes eingetreten, wobei vor allem die intraacinären Capillaren betroffen waren. Im Injektionsarteriogramm von Skoliose-Leichenlungen sind nach GODFREY (1970) die Gefäße jeden Kalibers mangelhaft entwickelt und die Gesamtzahl der Alveolen verringert.

REID argumentiert deshalb, diejenigen Patienten, bei denen eine Skoliose (auch schweren Grades) erst in einem späteren Alter die Lungenentwicklung beeinträchtige, diese hätten eine bessere Prognose.
Wie steht es nun bei Patienten, bei denen die Lungenentwicklung abgeschlossen war, als die Skoliose auftrat. Hier kann es sich ja um keine Hypoplasie der Alveolen und der Blutgefäße mehr handeln.
REID führt nun ausdrücklich den Unterschied zwischen Hypoplasie und Atrophie an. An Hand eines konkreten Beispiels kann sie folgendes zeigen.

Bei einer im Alter von 61 J. gestorbenen Frau mit linkskonvexer Skoliose seit der Adoleszenz (also nach dem 8. Lj.) ist nach makroskopischer und mikroskopischer Untersuchung einschließlich Injektionsarteriogramm der Fall einer Atrophie gegeben. Die großen Blutgefäße springen deutlich hervor, die Parenchymmantel ist bis auf einen Zentimeter verschwunden. Es gibt in diesem Beispiel keinen Hinweis für eine mechanische Kompression oder des Kollapses, es zeigt auch nicht das Bild der Stauungslunge, wie es zum Beispiel beim Fibrothorax mit kollabierten Alveolen und gestauten Gefäßen zu sehen ist.
Belegt ist, daß teilweise oder ganz kollabierte Lungenbereiche selbst nach Monaten unter gewöhnlichem Druck auf normales Volumen gebracht werden können, während hypoplastische Lungenbezirke trotz großer Druckanwendungen nicht aufblasbar sind.
Auch GODFREY (1970) bestätigt, daß bei später beginnender Skoliose Anhaltspunkte für eine Atrophie des Lungenparenchyms vorhanden sind. Die kleineren Blutgefäße sollen in ihrer Zahl vermindert sein und eine dickere Wandung zeigen.

Kritische Stimmen zu den von REID aufgeworfenen Aspekten sind auf demselben Symposium 1965 schon von SCADDING geäußert worden. Sein Wunsch war, diese Befunde an einer größeren Serie zu kontrollieren.
In einem im Lancet (1963) veröffentlichten Artikel wurde über das von REID festgestellte Gefäßmuster noch als einem Geheimnis gesprochen.
In Berichten aus dem Jahre 1970 und 1971 unterstützt SHANNON mit seinen funktionellen Untersuchungen allerdings die pathologisch-anatomischen Befunde von REID.

Beeinflussung der Lungenfunktion durch therapeutische Maßnahmen

Im letzten Jahrzehnt hat die Zahl der Untersuchungsberichte, die nicht mehr allein auf Erfolge und Mißerfolge einer Korrektur oder Stabilisierung und Kompensierung der Wirbelsäulendeformität hinweisen, sondern auch den wichtigen Teilaspekt der Atemfunktion berücksichtigen, zugenommen.
Wohl wurde darauf hingewiesen (MAKLEY 1968), die beste Behandlung der Skoliose sei die Prävention dieser Deformität. Allen Zentren, die sich mit Skoliosetherapie befaßten, waren von dem Wert einer atemgymnastischen z.T. praeoperativen Übungsbehandlung bei Kindern und Jugendlichen überzeugt. Und MANKIN (1964) betont, wie wichtig es sei, den Effekt konservativer und chirurgischer Korrektion bei der Skoliose zu bestimmen.
HERTEL und WÜRFEL (1969) konnten bei krankengymnastischer Vorbehandlung mit Atemübungen in ihrem Krankengut eine Besserung der Vitalkapazität von insgesamt 34% erreichen. Eine Besserung der Vitalkapazität um ein Drittel ist ein gutes Ergebnis und kennzeichnet den Wert der Atemübungen bei noch niedriger Compliance. COTREL (1965) berichtete sogar von einzelnen Besserungen bis zu 50%.

Die Rolle des schweren und die Brustkorbbeweglichkeit einschränkenden Gipsverbandes verdeutlichen folgende Untersuchungen.
Nach Korrektion der Skoliose mittels Gipskorsetts (Schrauben oder Umkrümmungsgips) fiel ein deutlicher Abfall der Vitalkapazität sowie des Atemgrenzwertes auf. MAKLEY (1968) zufolge trat sowohl in der paralytischen als auch nicht paralytischen Gruppe ein Abfall von durchschnittlich 500 ccm der Vitalkapazität auf.

NAGY u. BARTA (1968) berichteten über einen Abfall der Vk im Gipskorsett um 16%, im geschienten Korsett jedoch nur um 11,9%.
Einen noch stärkeren Abfall der Vitalkapazität nach Gipsverbänden (bei 7 Patienten mit nicht-paralyt. Skoliose) hat GUCKER (1962) beobachtet. Die durchschnittliche Korrektur betrug 58%, der durchschnittliche Verlust in der Vitalkapazität 29%.
Neben den allgemein akzeptierten Behandlungsverfahren wie Physiotherapie, Korsett (Milwaukee), Risser Gipsverband trat in den letzten Jahrzehnten die Wirbelsäulenversteifung in den Vordergrund.
Die ersten WS-Versteifungen wurden schon 1911 von HIBBS durchgeführt. Seit 1962 ist eine Modifikation von HARRINGTON in den Vordergrund getreten.
MAKLEY berichtete 1957, es sei möglich, Skoliosepatienten mit einer gegenüber dem Normalen um 30% verschlechterten pulmonalen Funktion zu operieren.
Wenn in einem vorigen Kapitel teils lineare Abhängigkeiten zwischen Skoliosegrad und Lungenvoluminaparametern dargestellt wurden, so ist von natürlichem Interesse die Frage, ob und wie sich die Lungenvolumina nach Operation bessern lassen.
Eine wichtige, wenn auch wenig beglückende Erkenntnis lag darin, daß mit den Verbesserungen des Krümmungsgrades bzw. Verkleinerung des Skoliosewinkels eine Besserung der Lungenfunktion in gleichem Maße nicht einherging.
Die direkt operativ bedingte Abnahme in der postoperativen Phase und Rekonvaleszenz ist natürlich außer acht zu lassen. Dabei spielten nach GAZIOGLU (1968) Faktoren wie Grad der Krümmungskorrektur, Grad der praeoperativen Krümmung und seiner Meinung nach Beginn der Deformität keine Rolle.

Zu beachten ist allerdings, daß eine Skoliose in eine sogenannte kompensierte Stellung gebracht werden muß, in der nach JENTSCHURA (1969) die besten Ergebnisse erreicht werden können.
Zuerst zu den positiven Auswirkungen eines Op-Verfahrens auf die Atemfunktion.
GAZIOGLU und GOLDSTEIN (1968) berichteten bei 12 von 17 Fällen idiopathischer Skoliose (zwischen 10 und 20 J.) nach orthopädischer Korrektur (unterschiedliche Op.-Verfahren) über eine Besserung. Sogar 3 Jahre nach Op. zeigten sich bei 2 Mädchen noch eine Besserung der Vitalkapazität.
Laut NAGY und BARTA (1968) beeinflußt eine Versteifung der Wirbelsäule - ohne Unterschied, ob einseitig oder beidseitig versteift - die Vitalkapazität nur in einem geringen Ausmaß. Nach HERTEL und WÜRFEL (1969) betrug die Vitalkapazität bei 130 nachuntersuchten Patienten, die mit einem einheitlichen Op-Verfahren nach M. LANGE behandelt worden waren, immer noch 31% des durch praeoperative Gymnastik um 34% gebesserten VK-Ausgangswertes.
In HAMILTON's Arbeit (1970) wird nach Harrington-Op. über eine Zunahme der Vitalkapazität, des Atemgrenzwertes und des F.E.V. in 8 von 10 Fällen berichtet. Kurioserweise nahm jedoch die Totallungenkapazität ab. Die Vitalkapazität stieg rechts im Schnitt um 310 ccm, die Vk der linken Lunge um 130 ccm. COTREL (1965) fand eine besondere Besserung der Lungenfunktion nach Wirbelversteifung bei Skoliosen über 100 Grad.

Über günstige und ungünstige Ergebnisse nach Harrington-Op. in Bezug auf das Spirogramm berichtet MIGURES u. Mitarb. (1970). Von 50 Fällen mit Restriktion zeigten 13 (26%) eine Besserung; bei 22 (44%) war ein status quo zu

verzeichnen und 15 (30%) zeigten eine Verschlechterung mit durchschnittlich 25% VK-Verlust.
Von 21 durch operative Wirbelsäulenversteifung behandelten und nachuntersuchten Patienten (paralyt. und nicht paralytisch) zeigten laut GUCKER (1962) nur 3 Pat. eine 10%ige oder noch mehr Besserung der Soll-VK, 10 Patienten hatten eine VK-Reduktion von weniger als 10% und 8 Pat. hatten eine um mehr als 10% vergrößerte VK-Reduktion.
Zu einem Befürworter der operativen Krümmungskorrektur ist SHANNON (1970) zu zählen, da seiner Ansicht nach damit eine mehr gleichmäßige Verteilung von Ventilation und Perfusion zu erreichen sei. 1971 weist SHANNON als erster darauf hin, daß bei Patienten nach operativer Korrektur (von Pat. zu Pat. variierend teils halofemoraltraction, Milwaukee brace, WS-Versteifung, Gipsverband) eine Abnahme des physiologischen Totraums und damit eine bedeutende physiologische Verbesserung hinsichtlich der Prognose zu erzielen gewesen sei.

Neuere chir. Op-Verfahren wie das von HARRINGTON und das von ihm entwickelte Instrumentarium möchten WESTGATE u. MOE (1969) im Hinblick auf haemodynamisch-pulmonale und cardio-vaskuläre Vorgänge noch nicht allein beurteilen. Sie sind der Meinung, daß nach jeder chirurgischen Korrektion eine Abnahme der Vitalkapazität eintritt.
Nicht direkt von einer Abnahme, so doch von einem Fehlen einer signifikanten Besserung berichtet MAKLEY (1968) bei 6 Fällen aus seiner nichtparalytischen Gruppe, die mit dem Halo-Apparat vorbehandelt wurden und bei denen dann eine Wirbelsäulenversteifung durchgeführt wurde. Auch hier änderte sich die Lungenfunktion im Vergleich zum praeoperativen Wert nicht wesentlich - auch wenn die Krümmung um 40% gebessert wurde.

WESTGATE u. MOE (1969) berichteten über Ergebnisse mit der Harrington-Op. bei 74 meist jugendlichen Patienten (davon 37 paralytisch, 24 idiopathisch, 13 congenital). Ein Jahr nach der Operation war im Gesamtdurchschnitt die Vitalkapazität von 57% auf 48% des Sollwertes gefallen. In Teilgruppen aufgegliedert zeigte die congenitale Gruppe im Schnitt eine Abnahme von VK und Atemgrenzwert, bei der idiopathischen fand sich eine leichte VK-Abnahme und eine leichte Zunahme des Atemgrenzwertes. Zwei und fünf Jahre nach der Op. waren keine wesentlichen Ergebnisveränderungen außer einem mäßigen Po2-Sättigungsanstieg zu verzeichnen. Sie berichten sogar über einen Patienten, bei dem nach WS-Versteifung eine VK-Abnahme eintrat, nach Entfernung der Fusionsmassen die Vitalkapazität wieder von 39% auf 45% des Sollwerts anstieg.
Eine Ursache für die VK-Abnahme gab STEINMANN (1951) an, die von GUCKER (1962) übernommen wurde. Nämlich durch den korrigierenden Druck auf die konvexe Seite - wo das größere Lungenvolumen zu finden sei - werde die Kapazität der konvexen Lunge eingeschränkt, so daß ein VK-Abfall resultiere. Bei dieser Anschauung drängt sich jedoch das Argument auf, nach Op. sei die konkave Seite doch entlastet, so daß es zu einem relativen Ausgleich der Vitalkapazität kommen müsse.
WESTGATE u. MOE können für die Abnahme der VK nach operativer Aufrichtung und Versteifung der Wirbelsäule nach Harrington-Methode keinen sicheren Grund angeben.
Zwei mögliche Gründe werden angeführt: einmal die durch die Versteifung vermehrte Einschränkung der Rippenbeweglichkeit, zum anderen, daß infolge der Aufrichtung auf der konkaven Seite die Rippen einen engeren Winkel mit der Wirbelsäule einschließen (also eine weitere räumliche Restriktion eintrete).

Bisher wurden unter dem Aspekt operative Maßnahme und Lungenfunktion mit Absicht die Fälle paralytischen Ursprungs ausgeklammert. Einheitliche Ergebnisse sind in dieser Gruppe ebenfalls nicht festzustellen.
MAKLEY (1968) berichtet zwar über eine allgemeine Besserung in der Deformität nach Korrektur, die Änderung in der Vitalkapazität war gering. Von 12 Patienten zeigten 3 eine Besserung in der $VK_{1}4$ einen Abfall von über 10% und 5 Patienten keine Änderung. GUCKER fand bei Patienten mit paralytischer Skoliose, die mit Gipsverbänden behandelt wurden, einen durchschnittlichen Abfall von 21% in der VK - bei einer durchschnittlichen Korrektion von 66%. Allerdings war bei Poliofällen, die mit dem Milwaukeekorsett behandelt wurden, eine VK-Zunahme von 11% zu verzeichnen - bei einer Skoliosekorrektur von 54%.
WESTGATE u. MOE warnten besonders in Fällen von Poliomyelitis-bedingter Skoliose vor einer überenthusiastischen Korrektur der Krümmung, da dies zu einem weiteren Abfall in den Lungenvolumina führen könne.

Es liegt auf der Hand, daß die jetzigen operativen Verfahren gern einer anderen mehr funktionellen Methode Platz machen würden.
MANNING (1965) spricht gezwungenermaßen zynisch, wenn er anführt, eine Wirbelversteifung bei Skoliose sei genau so unlogisch wie eine Gelenkversteifung bei Gelenkstuberkulose.

E) Ableitbare Folgerungen

Die eigenen experimentellen Untersuchungen an einem speziell zu diesem Zweck konstruierten Thoraxmodell lassen folgendes erkennen:
Es ist am Modell möglich, eine skoliotische Wirbelsäule mit deformiertem Thorax durch Volumen- und Drucksteigerungen auf der konkaven Seite aufzurichten bzw. zu begradigen.
Nach unseren Untersuchungen ist die konkave Seite volumenmäßig bei einer Skoliose mehr eingeschränkt als die konvexe. Es ist deshalb naheliegend, in der Therapie auf eine größere Entfaltung der konkaven Seite zu achten. Eine vermehrte Atemgymnastik bietet sich an, besonders bei Kindern mit noch niedriger Thoraxcompliance.
In Kenntnis der von REID u. Mitarb. festgestellten Hypoplasiebezirke der Lungen und dazugehörigem Gefäßbett wäre zu prüfen, ob solche Einschränkungen der Lungenentwicklung den mehr oder weniger meßbaren Erfolg hinsichtlich der Atemmeßgrößen wie VK und Atemgrenzwert nach operativer Korrektur ursächlich beeinflußt haben.
Das beste Operationsalter liegt nach JENTSCHURA (1969) im Alter zwischen 9 und 11 J. Dies unterstreicht mit die Forderung bei Skoliosekindern vor Eintreten einer Lungeneinschränkung bzw. Auftreten von Hypoplasiebezirken früh- d.h. um das 8. Lj. herum -operativ die Skoliose aufzurichten und eine langdauernde Atemgymnastik durchzuführen.
Bei den von verschiedener Seite bestätigtem Vorkommen von "Resolving-Skoliosen" (JAMES 1965, KRAUSE 1969) im Kindesalter wird das Problem für die Praxis eher erschwert. Bei den therapeutischen Korrekturen der Skoliose ist im Sinne eines funktionellen Denkens vom Gebrauch an Gipskorsetts abzuraten.

F) Zusammenfassung

Dem Grad und Ausprägung einer Skoliose folgt eine lineare Einschränkung der einzelnen Lungenmeßgrößen, wie Vitalkapazität, Totallungenkapazität, Atemgrenzwert.
Bei einer operativen Aufrichtung der Wirbelsäule sind die verminderten Lungenvolumina, wenn überhaupt, nicht in gleichem Umfang wieder zurückzugewinnen.
Bei der Skoliose (im Vordergrund die idiopathische) besteht ein charakteristisches von Normalen abweichendes Verteilungsmuster zwischen Ventilation und Durchblutung.
Pathologisch-anatomische Befunde an Lungen verstorbener Skoliosepatienten lassen in Bezug auf Alveolen- und Gefäßentwicklung bzw. der gestörten Ventilation und veränderten Durchblutung eine Erklärung zu. Durch eine im frühen Alter auftretende Skoliose werden einzelne Lungenpartien, d.h. Alveolen und Gefäßbett in der Entwicklung behindert. Es entstehen besonders in den unteren Lungenzonen hypoplastische Bezirke.
An einem Thoraxmodell läßt sich prinzipiell zeigen, wie durch Volumen und Drucksteigerung in der Lunge der konkaven Seite die Wirbelsäule bzw. der deformierte Thorax aufgerichtet und geradegerichtet werden kann. Aus diesem Grund wird für eine verstärkte Atemgymnastik plädiert.
Bei der noch nicht einheitlich geklärten Frage, in welchem Ausmaß konkave oder konvexe Seite bei der Lungenfunktion beteiligt sind, sprechen die eigenen Untersuchungen für eine größere Einschränkung der konkaven Seite.
Unter dem wichtigen Aspekt Lungenfunktion werden Erfolge und Mißerfolge bei den einzelnen Skoliosekorrekturverfahren erwähnt und vor dem Hintergrund pathophysiologischer Fakten gedeutet. Postoperative Messungen der Lun-

Literaturangaben

BJURE, J., GRIMBY, G., KASALICKY, J., LINH, M. and NACHEMSON, A.: Respiratory impairment and airway closure in patients with untreated idiopathic scoliosis, in: Thorax 25: 451-6, 1970

BJURE, J.: Correction of Bodyheight in Predicting Spirometric Values in Scoliotic Patients, Scand. J. Clin. Lab. Invest. 21: 191-2, 1968

BÜCHERL, E.S., LESCH, P., NASSERI, M., PRONDZYNSKI, B.v.: Lungenfunktionsstudien nach Homo- und Autotransplantation bzw. Denervation der linken Lunge und anschließender Unterbindung der rechten Pulmonalarterie, Thoraxchirurgie 11: 541, 1963/64

BÜHLMANN, A. und GIERHAKE, W.: Die Lungenfunktion bei der jugendlichen Kyphoskoliose, Schw. Med. Wschr. 90: 1153, 1960

BLOCK, A.J., WEXLER, J. and Mc DONELL, E.J.: Cardiopulmonary Failure of the Hunchback, JAMA 212: 1520-2, 1970

CARO, C.G. and DUBOIS, A.B.: Pulmonary Function in Kyphoscoliosis, Thorax: 16: 282-90, 1961

COLLIS, D.K. and I.V. PONSETI: Long-Term Follow-up of Patients with Idiopathic Scoliosis Not treated Surgically, J. Bone Joint Surg., 51-A: 425-444, 1969

DAHMEN, G.: Prinzipien der modernen operativen Behandlung der Skoliose, Hippokrates 41: 286-7, 1970

COMROE, J.: Physiologie der Atmung, Schattauer Verlag 1968

DE COSTER, A., et P. REMACLE: La function pulmonaire des cyphoscoliotiques,
Acta Orthopaedica Belgica 35: 551, 1967

DOLLERY, C.T., GILLAM, P.M.S., HUGH-JONES, P. and P.A. ZORAB: Regional lung function in kyphoscoliosis,
Thorax 20: 175-81, 1965

DREYER, J.: Fehler und Gefahren der Skoliosenbehandlung nach RISSER,
Bücherei des Orthopäden, Enke Verlag, Stuttgart,
Bd. 4: 194, 1969

EDELMANN, P.: Ergebnis-Auswertung operativ behandelter Skoliosen,
Z. orthop. 11: 63-67, 1972

FISHMAN, A.: Circulation and Respiration in Kyphoscoliosis,
Circulation 14: 935, 1956

FISHMAN, A.P.: Pulmonary Aspects of Scoliosis,
in: P.A. ZORAB (Ed.), Proceedings of the symposium on scoliosis, London 1965

FISHMAN, A.P.: Cardiac Function in Kyphoscoliosis,
in: P.A. ZORAB (Ed.), Proceedings of the symposium on scoliosis, London 1965

FREYSCHUSS, U., NILSONNE, U. and LUNDGREN, K.-D.: Idiopathic Scoliosis In Old Age,
Acta med. scand. 184: 365-372, 1968

GAZIOGLU, K., GOLDSTEIN, L.A., FEMI-PEARSE, D. and P.N. YU: Pulmonary Function In Idiopathic Scoliosis,
J. Bone Joint Surg. 50: 1391-9, 1968

GILLAM, P.: Regional Blood Flow in Kyphoscoliosis,
in: ZORAB, P.A. (Ed.): Proceedings of the symposium on Scoliosis, London 1965

GLAUBER, A. und HORVATH, F.: Die Skoliose und die durch diese bewirkte Thoraxdeformität,
Z. Orthop. 105: 334-46, 1968

GODFREY, S.: Respiratory and Cardiovascular Consequences of Scoliosis,
Respiration 27, Suppl.: 67-70, 1970

GRUETER, G.: Über die ventilatorische Funktion und Elastizität der Lungen bei Skoliosen,
Verh. Dtsch. Orthop. Ges. Beilageheft 97: 118,1963

GUCKER, Th.: Changes in Vital Capacity in Scoliosis,
J. Bone Joint Surg. 44-A: 469-81, 1962

HAMILTON, F., THOMAS, M.P. and M.P. PERALTA jr.: Ventilation Effects Of The Harrington Procedure For The Treatment Of Scoliosis,
Surg. Gynec Obstet 130: 1067-72, 1970

HARRINGTON, P.R.: Treatment Of Scoliosis. Correction and Internal Fixation by Spine Instrumentation,
J. Bone Joint Surg. 44A: 591-610, 1962

HEINE, J., R. MEISTER: Quantitative Untersuchungen der Lungenfunktion und der arteriellen Blutgase bei jugendlichen Skoliotikern mit Hilfe eines "Funktionsdiagnostischen Minimalprogramms",
Z. Orthop. 110, 56-62 (1972)

HERTEL, E. und WÜRFEL, J.: Die Operation der Skoliose und ihre Ergebnisse,
Z. Orthop. 106: 85-98, 1969

HORVATH, F. und GLAUBER, A.: Zwerchfelluntersuchung des auf Grund der idiopathischen dorsalen Skoliose deformierten Thorax,
Z. Orthop. 105: 347-58, 1968

JAMES, J.J.P.: Indications for Surgery in Scoliosis,
Bücherei des Orthopäden, Enke Verlag, Bd. 4: 131, 1969

JAMES, J.J.P.: Classification and Prognosis,
in: ZORAB, P.A.: Proceedings of the symposium on scoliosis, London 1965

JAMES, J.J.P.: The Etiology of Scoliosis,
J. Bone Joint Surg. 52: 410-9, 1970

JENTSCHURA, G.: Die operative Behandlung der Skoliose,
Bücherei des Orthopäden, Bd. 4: 161, 1969

KRAUSE, W.: Behandlung der sogenannten Säuglingsskoliose,
Bücherei des Orthopäden, Enke Verlag, Stuttgart,
Bd. 4: 145, 1969

LANDEN, H.C.: Die Lungenfunktion bei Deformierung der Brustwirbelsäule,
Z. Orthop. 78: 169, 1948

LANGE, M.: Internistische Betrachtungen bei Skoliosen,
Verh. Drsch. Ges. Orthop. 50: 47, 1962

LOKEN, M.K. and WESTGATE, H.D.: Evaluation Of Pulmonary Function Using Xenon 133 And The Scintillation Camera,
Amer. J. Roentgenol. 100: 835-43, 1967

The LUNGS in kyphoscoliosis:
Lancet, 1:205, 1963

MAKLEY, J.T., HERNDON, Ch. H., INKLEY, S., DOERSHUK, C., MATTEWS, L.W., POST, R.H. and LITTEL, A.S.: Pulmonary Function in Paralytic and Non-Paralytic Scoliosis before and after Treatment, J. Bone Joint Surg. 50: 1379-90, 1968

MANKIN, H.J., GRAHAM, J.J. and SCHACK, J.: Cardiopulmonary Function in Mild and Moderate Idiopathic Scoliosis, J. Bone Joint Surg. 46: 53-62, 1964

MANNING, C.W.: Surgical Treatment of Scoliosis, Bücherei des Orthopäden, Enke-Verlag, Stuttgart, Bd. 4: 158, 1969

MANNING, C.W.: Surgical treatment, in: P.A. ZORAB (Ed.): Proceedings of the symposium on scoliosis, London 1965

MATTHIASS, H.H.: Die Indikation zur operativen Behandlung der Skoliose, Bücherei des Orthopäden, Enke Verlag, Stuttgart, Bd. 4: 138, 1969

MAU, H.: Behandlung der infantilen Skoliose? DMW 93: 2051-3, 1968

MEINECKE, R.: Beitrag zur experimentellen Pathogenese der Skoliose, Beitr. Orthop. Trauma 15: 73-5, 1968

MEZNIK, F. und KUMMER, F.: Skoliose und Lungenfunktion, Z. Orthop. 108: 382-90, 1970

MIGUERES, J., GAUBERT, J., JOVER, A., CAUSSE, G., CHENEAU, J., MARTINEZ, J. et J.H. GAUBERT: Le Retentissement Respiratoire Des Scolioses Graves Chez L'adoleszent, Presse Medicale 78-No. 46; 2001-6, 1970

NALYE, R.L.: Kyphoscoliosis and cor pulmonale, Amer. J. Path., 38: 561-73, 1961

MOE, J.H. and RAMON, B.G.: Treatment of Scoliosis,
J. Bone and Joint Surg. 46A: 293, 1964

NAGY, G. und BARTA, O.: An skoliotischen Kranken unternommene Atmungsfunktionsuntersuchungen,
Z. Orthop. 105: 166-71, 1968

PILCHNER, M.F.: Infantile Scoliosis,
Bücherei des Orthopäden, Bd. 4: 115, 1969

PISSAREK, H. und DIPPOLD, D.: Präoperative Untersuchungen bei Patienten mit Skoliose und Trichterbrust,
Beitr. Orthop. Traumat. 18: 84-85, 1971

POPESCU, J.: The study of respiratory function in scoliosis,
Med. Intern (Bucu) 14: 57-66, 1962

PONSETI, J.: Die Behandlung der Skoliose,
Verh. Dtsch. Ges. Orthop. 50: 121-2, 1962

PRIME, F.J.: Routine Lung Function Studies in Kyphoscoliosis, in: P.A. ZORAB (Ed.): Proceedings of the symposium on scoliosis, London 1965

REID, L.: Autopsy Studies of the Lungs in Kyphoscoliosis, in: P.A. ZORAB (Ed.): Proceedings of the Symposium on Scoliosis, London 1965

RISSER, J.C.: Scoliosis: Past and Present,
J. Bone Joint Surg. 46A: 167-199, 1964

RISSER, J.C.: A Follow-up Study Of The Treatment Of Scoliosis,
J. Bone Joint Surg. 40A: 555-569

ROAF, R.: The Late Results of Growth Arrest in the Treatment of Scoliosis,
Bücherei des Orthopäden, Bd. 4: 152, 1969

RÖSSLER, H. und THOMAS, G.: Untersuchungen über die Biomechanik der idiopathischen Skoliose,
Bücherei des Orthopäden, Bd. 4: 118, 1969

ROUSSELIN, L., DUWOOS, H., LYON, J.F., BEZANNIER, R. et PINGARD, R.: L'insuffisance Cardio-Respiratoire Des Cyphoscolioses,
Soc. Franc. Tuberc. 290-303, 1969

SCADDING, J.G.: Summary of Symposium, in:
P.A. ZORAB (Ed.): Proceedings of the symposium on scoliosis, London 1965

SCHEIER, H.J.: Zur Verwendung des Instrumentes von P. Harrington zur Korrektur und internen Fixation von Skoliosen,
Z. Orthop. 106: 253, 1969

SCHOELLNER, D.: Steigerung der Vitalkapazität durch Rippenbuckelresektion mit der Brustkorbdehnungstechnik,
Z. Orthop. 101: 323 (1966)

SHANNON, D.C., E.J. RISEBOROUGH and H. KAZEMI: Ventilation Perfusion Relationships Following Correction of Kyphoscoliosis,
JAMA 217: 579-84, 1971

SHANNON, D.C.,E.J. RISEBOROUGH, L.M. VALENCA and H. KAZEMI: The distribution Of Abnormal Lung Function in Kyphoscoliosis,
J. Bone Joint Surg. 52: 131-144, 1970

SHAW, D.B. and READ, J.: Hypoxia And Thoracic Scoliosis,
Brit. Med. J. 2: 1486-1489, 1960

SIMON, G.: Lung Vascularity and Movements of the Diaphragma, in: P.A. ZORAB (Ed.): Proceedings of the symposium on scoliosis, London 1965

STEINMANN, E.P.: Die Funktionsprüfung der einzelnen Lunge bei der Skoliose,
Z. Orthop. 80: 202-226, 1951

TÄGER, K.H.: Die Wirbelgelenke bei Skoliosen,
Bücherei des Orthopäden, Bd. 4: 204, 1969

TING, E.Y. and H.A. LYONS: The relation of pressure and Volume of the total Respiratory System and its Components in Kyphoscoliosis,
Amer. Rev. Resp. Dis. 89: 379-86, 1964

UEHLINGER, E.: Die Thoraxdeformitäten,
in: Handbuch der inneren Medizin, 4. Aufl.,
Bd. IV/2, Springer Verlag 1956

VANDERPOOL, D.W., J.I. JAMES and R. WYNNE-DAVIES: Scoliosis in the Elderly,
J. Bone Joint Surg. 51A: 446, 1969

WASSNER, U.J.: Zur Frage des Anteils von Brustwandatmung und Zwerchfellatmung,
Thoraxchirurgie: 10: 585-91, 1962

WESTGATE, H.D. au J.H. MOE: Pulmonary function in Kyphoscoliosis before and after Correction by the Harrington Instrumentation Method,
J. Bone Joint Surg, 51: 935-46, 1969

WESTGATE, H.D.: Pulmonary Function in Scoliosis,
Am. Rev. Resp. Dis. 96: 147, 1967

WITT, A.N.: Operative Behandlung der Skoliose,
Verh. Dtsch. Ges. Orthop. 50: 122-3, 1962

WYNNE-DAVIES, R.: The Genetic Aspects of Scoliosis, Bücherei des Orthopäden, Bd. 4: 168, 1969

ZIMMERMANN, W.E., K. AMMON, D. SEITZ und J. GROH-BRUCH: Moderne Untersuchungen der Atemmechanik (Ganzkörperplethysmographie) - ein wichtiger Fortschritt in der praeoperativen Lungenfunktionsdiagnostik, Thoraxchirurgie 16: 353, 1968

ZORAB, A.P.: The Lungs in Kyphoscoliosis, Develop Med Child Neurol, 4: 339-41, 1962

ZORAB, P.A.: Assessment of Cardio-Respiratory Function, in: ZORAB, P.A. (Ed.): Proceedings of the symposium on Scoliosis, London 1965

Herrn Prof. Dr. A. Göb danke ich herzlich für die Überlassung des Dissertationsthemas und für die experimentelle Arbeitsmöglichkeit.

Lebenslauf

Am 7.5.1941 wurde ich, Lothar Kramer, als fünftes Kind des Oberlehrers Wilhelm Kramer und seiner verst. Ehefrau Wilhelmine, geb. Matthauer, in Schwenningen/N. geboren.

Nach Volksschulbesuch in Zimmern o.R. war ich 4 Jahre auf der Oberschule für Jungen in Rottweil/N. und 5 Jahre auf dem Gymnasium in Schramberg/Schw. Dort legte ich im März 1961 das Abitur ab.

Das Medizinstudium führte mich nach Freiburg/Brsg., Marburg und Frankfurt/M. Im Juli 1967 legte ich dort das Medizinische Staatsexamen ab. Während der 2-jährigen Medizinalassistentenzeit war ich je 6 Monate an der Medizinischen Klinik II der TH Aachen, an der Chirurg. Abtlg. des Kreiskrankenhauses Rockenhausen/Pf., an der Geb.-Gynäkolog. Abtlg. des Kreiskrankenhauses Eschwege sowie am Pathologischen Institut der Universität Giessen.

Im November 1969 erhielt ich die Aprrobation.

Von Januar 1970 an war ich 2 Jahre lang als Assistent auf der Chirurg. Abtlg. des Kreiskrankenhauses Mindelheim/Schw. tätig. In dieser Zeit festigte sich das Ziel, Facharzt für Orthopädie zu werden. Herr Prof. Dr. Göb gab mir dazu die Möglichkeit, auf dem Gebiet der Orthopädie zu promovieren.